

T형 센서배열을 이용한 오이형상분류 알고리즘*

An Algorithm for Sorting Cucumbers using a T-shaped Array of Sensors*

양문희** · 장 경**

Moonhee Yang** · Kyung Chang**

Abstract

This paper addresses a fundamental and theoretical model for the shape of a cucumber and its human-oriented proper definition of length and curvature in order to sort cucumbers electronically. In addition, we design a T-shaped array of sensors to minimize the number of sensors and the processing number of A/D(Analog/Digital) conversions, and we analyze regular patterns of a series of 1's and 0's which are converted from an A/D module. Finally we suggest an algorithm for measuring the length and curvature providing a rule from the regular patterns.

The methodology suggested in this paper could be applied to electronical classification of some crops and fruits such as tomatoes, apples, and so on, and can be a basis for developing other sorting machines.

1. 서론

오이선별작업의 주목적은 오이품질에 따른 가격차별화 정책으로 오이농가소득의 극대화에 있다. 오이품질은 여러 가지 측면에서 정의될 수 있으나 통상적으로 신선도를 의미하는 오이가시 및 오이 꽃의 유무가 가장 중요하고 다음으로 오이길이와 오이의 굵은 정도이다. 아직까지 오이의 당도나 아삭아삭한 정도, 또는 오이의 특정 성분 에 대한 구성비율 등은 기술적 또는 경제적 이유 때문에 오이의 품질로서 인정되고 있지 않는 실정이다[1].

오이온실 또는 오이 밭에서 수확된 오이는 집산된 후 선별작업에 들어가며 농협이나 도매시장으로 운송된다. 일반적으로 수확, 집산 및 선별작업이 지체없이 당일 수

행되어야 하므로 시간관리가 매우 중요하다. 오이수확의 자동화는 현재의 제반 여건으로는 거의 불가능하며 선별 작업은 일본의 경우 상당 수준 전자화 되어 있다. 그러나 우리나라의 경우 현재 100% 수작업으로 이루어지고 있어 선별작업에 대한 전자화가 절실히 요구되고 있다.

농산물 선별작업의 자동화는 공장의 자동화개념과 유사한 점도 있으나 공장제품의 모양이 일정한 반면 농산품의 경우 모양이 다양하고 농산물 각각의 특성이 존재하여 색다른 문제가 내재되어 있다. 전자식 오이선별기를 개발하기 위해 만약 부품공급장치(Automatic part delivery system)와 같은 장치를 부착한다면 반드시 오이가시와 오이 꽃의 손상을 초래하게 되며 오이가 물러질 가능성이 크다. 따라서 농산물 선별 자동화시 농산물을 하나 하나

* 이 연구는 단국대학교 대학연구비의 지원으로 연구되었음.

** 단국대학교 산업공학과

손으로 입력시켜 주는 작업이 현재로서는 거의 필수적이며, 농산물 선별의 자동화란 농산물 품질등급의 판정을 인간이 수행하는 것이 아니고 전자식 선별제어기가 대신 하는 수준이다.

농산물 선별자동화의 경제적 타당성은 품질등급 수에 있으며, 일반적으로 품질등급수가 많을수록 전자식과 수동식작업의 처리능력차이는 기하급수적으로 커져서 그 경제적 타당성이 부각된다고 하였다. 우리나라의 오이농가에서는 오이의 수선별 작업시 일반적으로 오이가시와 오이 꽃의 손상을 피하기 위해 오이의 끝 부분을 한 손으로 잡고 눈으로 길이와 굵은 정도를 판단하여 보통 8등급 중의 한 등급으로 판정한다. 이러한 수동식 작업방법을 따른다면 인간의 등급판단시간은 등급 수에 따라 기하급수적으로 증가한다. 기하급수적으로 증가하는 현상을 억제하기 위해 작업보조판을 이용한 오이선별작업방법이 제시되었다[1]. 이 작업방법에 따르면 2등급시 2.9700초/개, 4등급시 4.3330초/개, 그리고 8등급시 5.0167초/개로 8등급기준 선별처리능력은 718개/시간으로 추정되었다. 또한 전자식 오이선별기의 최대처리능력은, 인간 대신 로봇트를 투입하지 않는 조건하에서 판독 등급 수에 관계없이 인간의 오이투입속도인 2.4750초/개 (1455개/시간)로 추정되고 있어 전자식 오이선별기의 개발타당성은 있다고 사료된다[1].

전자식 오이선별기를 개발하기 위한 전제조건으로 오이품질의 판독방법이 제시되어야 한다. 본고에서는 T형 센서배열하에서 오이의 길이와 굵은 정도를 판독하는 방법에 대하여 서술한다. 참고로 일본의 경우 전자식 오이선별기는 판매되고 있으나 오이선별과 관련된 제반기술과 논문은 발표되고 있지 않는 실정이며 국내에서는 현재까지 연구조차 되지 않고 있는 실정이다.

2. 선별방법론

2.1 오이길이와 굴곡도의 정의

오이의 등급판정은 길이와 굴곡도에 좌우되므로 두 오이의 정확한 이론적 정의가 필요하다. 오이의 이론적 모형은 그림 1에 제시되었으며 그림 1은 오이를 길쭉한 방향으로 이등분하였을 때의 단면을 보여주고 있다. 오이모형은 O_1 과 O_2 를 중심으로 하는 반경 R인 두 개의 동일

한 반구와 $\angle O_1O_2O_3$ 인 실린더로 구성되어 있다. 호 $\widehat{O_1O_2}$ 의 반경은 r이며 실린더의 단면인 원의 반경은 R이다.

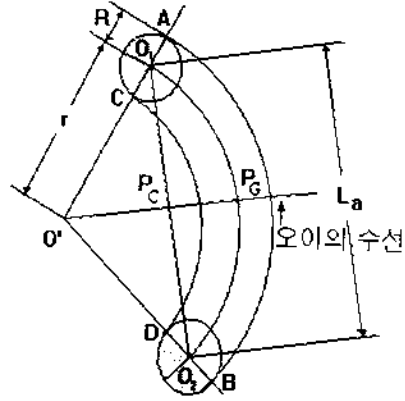


그림 1. 이론적 오이모형

호 $\widehat{O_1O_2}$ 의 길이를 L이라 하고 이론적 오이길이(L_1)를 $(L+2R)$ 로 정의하자. 선분 $\widehat{O_1O_2}$ 를 L_2 로, L_2 를 수직 이등분하는 점을 P_c 로, P_c 에서의 수선과 호 $\widehat{O_1O_2}$ 와 만나는 점을 P_g 로, 선분 P_cP_g 의 길이를 H로 하자. 본고에서는 이론적 굴곡도(C_g)를 $\frac{H}{L_2}$ 로 정의한다. 따라서 (L, R, L_2, H) 의 값이 측정되면 L_2 와 C_g 의 값도 측정된다.

굴곡도를 표현하기 위해 "곡률"을 사용하는 경우 인간의 일반적인 판단기준에 위배된다. 일반적인 곡률의 정의는 곡선이나 곡면의 굽은 정도로 곡률 반경의 역수이다. 그림 2의 CASE 1에서 제시된 바 오이 A와 오이 B의 굴곡도를 비교할 때, 일반적으로 오이 B가 더 많이 굽어있다고 판단할 것이다. 그러나 곡률의 정의에 따르면 오이 A와 오이 B는 $\frac{1}{r}$ 로 같기 때문에 굽은 정도도 같다고 판단해야 한다. 따라서 곡률은 오이의 굽은 정도를 제대로 표현할 수 없다.

굴곡도를 H로 정의할 경우에도 곡률로 정의한 경우와 유사한 문제가 발생한다. 그림 2의 CASE 2에서 오이C와 오이D의 수선길이는 H로 같으나 일반적으로 오이 D가 더 굽어있다고 판단할 것이다. 따라서 H를 굴곡도로 정의하면 굽은 정도를 정확히 표현할 수 없다.

일반적으로 굽은 오이의 경우 H가 0보다 크며, 곧은 오이의 경우는 H가 0이 될 것이다. H값이 같더라도 L_2 가 큰 경우 굽은 정도의 값이 작아져야하므로 본고의 굴곡

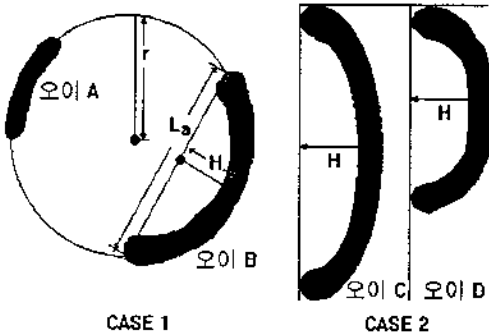


그림 2. 곡률은 같으나 굵은 정도가 다른 경우 (CASE 1)와 H는 같으나 굵은 정도가 다른 경우 (CASE 2)

도 정의와 일치된다. 반경 r인 원에서 분고의 굴곡도 정의를 적용할 경우 각도가 θ_r 인 호의 굴곡도는 다음과 같다.

$$C_r = \frac{1 - \cos \frac{\theta_r}{2}}{2 \sin \frac{\theta_r}{2}}$$

상기 식은 r에 관계없이 θ_r 의 증가함수이고, 휘어진 실린더의 단면을 수직으로 통과하는 모든 호(예를 들면 \widehat{AB} , \widehat{CD} ,와 $\widehat{OO'}$)의 굴곡도는 동일하게 산출되므로 굵은 정도에 대한 인간의 통상적 판단과 일치한다고 사료된다.

2.2 T형 센서배열에 따른 측정방법

2.2.1 T형 센서배열

오이길이와 굴곡도를 측정하는 방법은 다양하다. 직사각형 센서배열을 이용할 경우 오이길이와 굴곡도의 측정은 용이하나 센서의 수가 많으므로 A/D변환시간으로 인한 선별처리속도 문제와 센서 원가의 상승 등을 유발한다. T형 센서배열을 이용할 경우 측정방법은 복잡하나 상기문제점은 없으므로 본고에서는 T형 센서배열 형태를 따른다(그림 3).

센서는 x축과 -y축 방향의 T형 모양으로 배열되어 있으며 배열간격은 5mm로 설계되어 있다. x축과 y축의 교점인 원점에서 +y축 방향으로 150mm 떨어진 지점을 기준점이라 하자. 일반적으로 오이길이는 150mm이상이기 때문에 기준점에서 원점 전까지 센서는 필요하지 않다. -y축 방향으로 수직 배열된 센서 수는 32개이며 원점 다

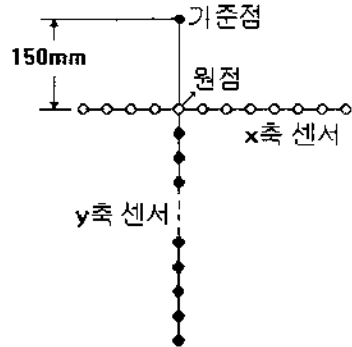


그림 3. T형 센서배열

음의 센서에서부터 차례대로 (Y_m, Y_l, \dots, Y_1)로 명명하자. x축 상에 수평배열된 센서 수는 12개이며 왼쪽부터 차례대로 (X_m, X_l, \dots, X_1)로 명명하자. X_i 와 X_j 에서 i와 j를 센서 위치라고 하자. 센서 X_i 는 원점에 위치해 있음에 유의하자.

작업자는 오이 투입시 오이의 한 쪽 끝에 있는 원의 중심을 기준점에, 다른 쪽 원의 중심을 y축 상에 일치시킨다고 가정하자(그림 4). 오이의 중앙선과 x축이 만나는 지점에 가장 가까이 위치한 센서 위치(예를 들면 그림 4에서 X_6 이 X_7 보다 그 지점에 가까이 위치해 있으므로 6이 됨)를 x축 산출점(XPOS)으로, 오이의 직선과 오이의 다른 한쪽 끝이 만나는 지점에 가장 가까이 위치한 센서 위치를 y축 산출점(YPOS)으로 정의하자. T형 센서배열로 R과 (XPOS, YPOS)값이 측정되므로 기준점에서 YPOS

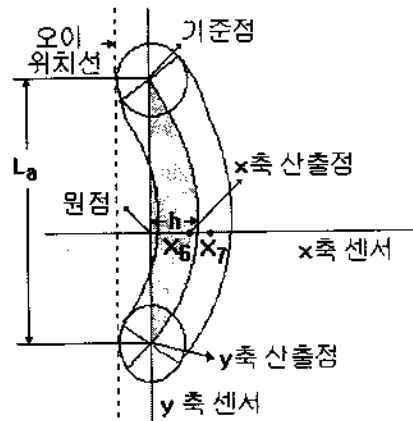


그림 4. 오이투입시 오이위치

까지의 길이(L_s)는 $L_s = 150 + 5 \cdot (\text{YPOS} + 1)$ 로 측정되며, 원점에서 XPOS까지의 길이(h)는 $h = 5 \cdot (\text{XPOS} - 4)$ 로 측정된다. (L , R , L_s , H)의 정보만 있으면 L_r 와 C_r 를 측정할 수 있으므로 L 과 H 가 L_s 와 h 의 함수로 표현되어야 한다.

2.2.2 T형 센서배열에 따른 오이길이의 굴곡도의 이론적 산출식

L 과 H 를 L_s 와 h 의 함수로 표현하자. 편의상 $L_s = 150\text{mm}$ 를 기준점에서 원점까지의 길이로 정의하자. $h = 0$ 인 경우 $L = L_s + 2R$, $C_r = 0$ 이다. $h \neq 0$ 일 때 ($0 \leq \angle CO'E (= \theta) \leq \pi$) (그림 5 참조) (ii) $\pi \leq \theta \leq 2\pi$ (그림 6 참조)로 나누어서 L 과 H 를 구하여야 한다. 또한 각각의 경우에 (1)

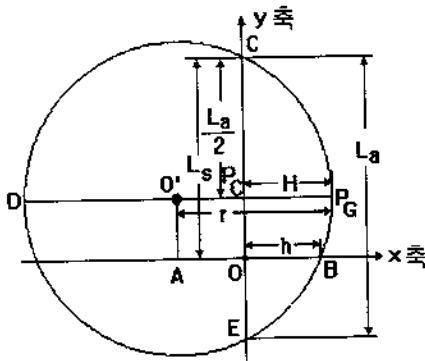
$L_s < L_a \leq 2L_s$ 와 $(L) 2L_s < L_a$ 로 구분하여 산출하여야 한다. 상기 방식으로 구분하여야 하는 이유는 다음의 전개과정에서 알 수 있다.

(i) $0 \leq \theta \leq \pi$ 인 경우

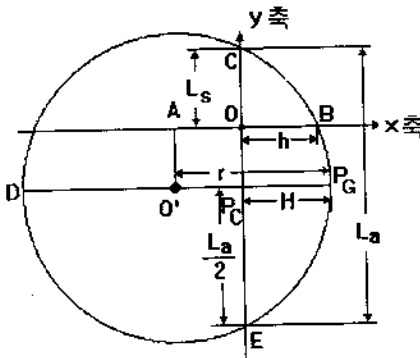
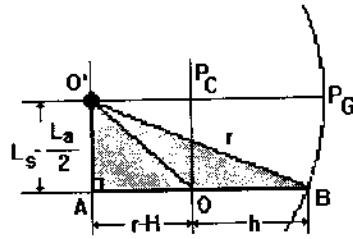
(1) $L_s < L_a \leq 2L_s$ 인 경우 (그림 5의 (1) 참조)

L 은 $\angle CO'E$ 에 해당하는 호의 길이이므로 $r\theta$ 로 표시된다. $DP_C = 2r - H$, $P_C P_G = H$, $CP_C = P_C E = \frac{L_a}{2}$ 이다. 또한 현의 정리에서 $DP_C \cdot P_C P_G = CP_C \cdot P_C E$ 가 성립하므로 $(2r - H)H = \frac{L_a^2}{4}$ 이 성립한다. 이 식에서 r 은 다음과 같이 표현된다.

$$r = \frac{L_a^2 H}{8H^2 - 2} = \frac{L_a^2 + 4H^2}{8H} \tag{1}$$



(1) $L_s < L_a \leq 2L_s$



(L) $2L_s < L_a$

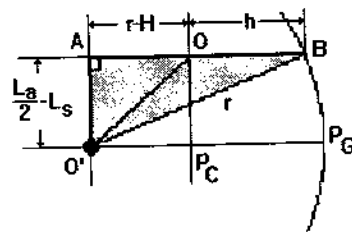
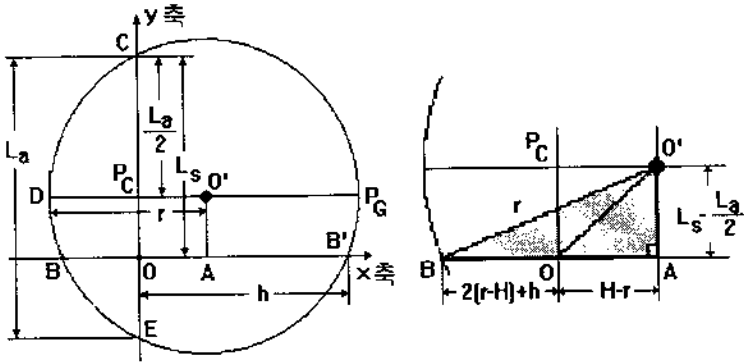
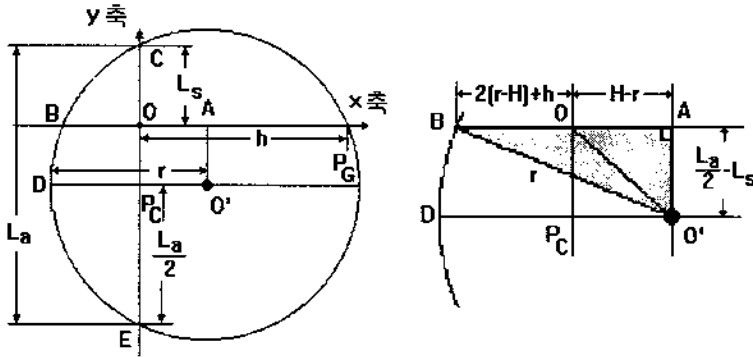


그림 5. $0 \leq \theta \leq \pi$ 인 경우 오이길이의 굴곡도의 이론적 계산을 위한 그림



(7) $L_s < L_a \leq 2L_s$



(L) $2L_s < L_a$

그림 6. $\pi \leq \theta \leq 2\pi$ 인 경우 오이길이와 굴곡도의 이론적 계산을 위한 그림

$\triangle O'AB$ 에서 $\overline{O'A} = L_s - \frac{L_a}{2}$, $\overline{O'B} = r$, $\overline{AO} = \overline{O'P_C} = \overline{O'P_G} - \overline{P_CP_G} = r - H$ ($0 \leq \theta \leq \pi$ 일 때 항상 $r - H \geq 0$ 임에 유의한다), $\overline{AB} = \overline{AO} + \overline{OB} = (r - H) + h$ 이며 $\triangle O'AB$ 에서 피타고라스 정리에 의해 다음 식을 얻는다.

$$r^2 = \left(L_s - \frac{L_a}{2}\right)^2 + (r - H + h)^2 \quad (2)$$

상기 식에서 r 을 소거하여 H 를 구하면 다음과 같은 2차 방정식이 나오며 $H \geq 0$ 이므로 음수 근을 제거하면 H 는 식(3)과 같다.

$$4hH^2 - 4(L_s^2 - L_sL_a + h^2)H - hL_a^2 = 0$$

$$H = \frac{1}{2h} \left\{ (L_s^2 - L_sL_a + h^2) + \sqrt{(L_s^2 - L_sL_a + h^2)^2 + h^2L_a^2} \right\} \quad (3)$$

상기 식에서 L_s 는 상수이므로 H 는 L_a 와 h 의 함수이다. 한편 $\sin \frac{\theta}{2} = \frac{L_a}{2r}$, $\cos \frac{\theta}{2} = \frac{r - H}{r}$ 이므로 $\sin \theta = 2 \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{\theta}{2} = \frac{L_a(r - H)}{r^2}$ 이다. 따라서

$$\theta = \sin^{-1} \frac{L_a(r - H)}{r^2} = \sin^{-1} \left\{ \frac{8HL_a(L_s^2 - 4H^2)}{(L_s^2 + 4H^2)^2} \right\} \quad (4)$$

그런데 $0 \leq \theta \leq \pi$ 이므로 상기 식을 만족하는 θ 는 두 개 존재한다. 두 개의 θ 중 작은 값을 θ_{\min} 이라 하면 구하고자 하는 θ 와 L 은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \theta = \theta_{\min} & \quad L_a \leq \sqrt{2r} \text{ 일 때} \\ \pi - \theta_{\min} & \quad \sqrt{2r} \leq L_a \leq 2r \text{ 일 때} \end{aligned}$$

$$L = r\theta$$

$$= \frac{L_a^2 + 4H^2}{8H} \theta_{\min} \quad L_a \leq \sqrt{2r} \text{ 일 때}$$

$$\frac{L_a^2 + 4H^2}{8H} (\pi - \theta_{\min}) \quad \sqrt{2r} \leq L_a \leq 2r \text{ 일 때} \quad (5)$$

(L) $2L_s < L_a$ 인 경우 (그림 5의 (L) 참조)

(-) 의 경우와 동일한 방식으로 전개하면 식(1)이 성립되며 $\triangle OAB$ 에서 $\overline{OA} = \frac{L_a}{2} L_s$ 가 되고 식(2)는 $r' = \left(\frac{L_a}{2} L_s\right) + (r-H+h)$ 으로 된다. 이하 같은 방식으로 L은 식(5)와 동일하다.

(ii) $\pi \leq \theta \leq 2\pi$ 인 경우

(-) $L_s < L_a \leq 2L_s$ 인 경우 (그림 6의 (-) 참조)

L은 $\angle CO'E$ 에 해당하는 현의 길이이므로 r θ 로 표시된다. $\overline{DP_C} = 2r-H$, $\overline{P_C P_G} = H$, $\overline{CP_C} = \overline{P_C E} = \frac{L_a}{2}$ 이다. 또한 현의 정리에서 $\overline{DP_C} \cdot \overline{P_C P_G} = \overline{CP_C} \cdot \overline{P_C E}$ 가 성립하므로 $[2(r-H)]H = \frac{L_a^2}{4}$ 이 성립한다. 따라서 식(1)이 성립한다.

$\triangle O'AB$ 에서 $\overline{O'A} = L_s \cdot \frac{L_a}{2}$, $\overline{O'B} = r$, $\overline{AO} = \overline{O'P_C} = \overline{DO'} - \overline{P_C O'} = r - (2r-H) = H-r$ 이다($\pi \leq \theta \leq 2\pi$ 일 때 항상 $H-r \geq 0$ 임에 유의한다). \overline{OB} 를 x라 하면

$$\begin{aligned} x &= \overline{AB} - \overline{AO} \\ &= \frac{1}{2} \overline{BB'} - \overline{AO} \\ &= \frac{1}{2} (h+x) - (H-r) \end{aligned}$$

이 방정식을 풀면 $\overline{OB} = 2(r-H)+h$ 이다. 따라서 $\overline{AB} = \overline{AO} + \overline{OB} = (H-r) + 2(r-H) + h = r-H+h$ 이며 $\triangle O'AB$ 에서 피타고라스 정리에 의해 식(2)와 식(3)이 성립한다.

한편 $\sin \frac{\theta}{2} = \sin(\pi - \frac{\theta}{2}) = \frac{L_a}{2r}$, $\cos \frac{\theta}{2} = -\cos(\pi - \frac{\theta}{2}) = \frac{r-H}{r}$ 이므로 $\sin \theta = 2 \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{\theta}{2} = \frac{L_a}{r} \cdot \frac{r-H}{r}$, 따라서 $\theta = \sin^{-1} \frac{L_a(r-H)}{r^2}$. 그런데 $\pi \leq \theta \leq 2\pi$ 이므로 상기 식을 만족하는 θ 는 두 개 존재한다. 두 개의 θ 중 작은 값을 θ_{\min} 이라 하면 구하고자하는 θ 와 L은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \theta = \theta_{\min} & \quad L_a \leq \sqrt{2r} \text{ 일 때} \\ 3\pi - \theta_{\min} & \quad \sqrt{2r} \leq L_a \leq 2r \text{ 일 때} \end{aligned}$$

표 1. L_r 와 C_r 의 산출식 요약

구분	$L_s = L_a$ 인 경우	$L_s > L_a$ 인 경우
$h=0$	$L_r = L_s + 2R$ $C_r = 0$	불능
$h \neq 0$	불능	<p>(i) $0 \leq \theta \leq \pi$</p> <p>$L_T = \frac{L_a^2 + 4H^2}{8H} \theta_{\min} + 2R$ $L_a \leq \sqrt{2r}$일 때</p> <p>$\frac{L_a^2 + 4H^2}{8H} (\pi - \theta_{\min}) + 2R$ $\sqrt{2r} \leq L_a \leq 2r$일 때</p> <p>(ii) $\pi \leq \theta \leq 2\pi$</p> <p>$L_T = \frac{L_a^2 + 4H^2}{8H} \theta_{\min} + 2R$ $L_a \leq \sqrt{2r}$일 때</p> <p>$\frac{L_a^2 + 4H^2}{8H} (3\pi - \theta_{\min}) + 2R$ $\sqrt{2r} \leq L_a \leq 2r$일 때</p> <p>$C_r = \frac{1}{2h} \frac{1}{L_a} \left\{ [L_s^2 - L_s L_a + h^2] + \sqrt{[L_s^2 - L_s L_a + h^2]^2 + h^2 L_a^2} \right\}$</p> <p>$(\pm H) = \frac{1}{2h} \left\{ [L_s^2 - L_s L_a + h^2] + \sqrt{[L_s^2 - L_s L_a + h^2]^2 + h^2 L_a^2} \right\}$</p>

$$L = r\theta$$

$$= \frac{L_a^2 + 4H^2}{8H} \theta_{\min} \quad L_a \leq \sqrt{2r} \text{ 일 때}$$

$$\frac{L_a^2 + 4H^2}{8H} (3\pi - \theta_{\min}) \quad \sqrt{2r} \leq L_a \leq 2r \text{ 일 때} \quad (6)$$

(-) $2L_s < L_a$ 인 경우 (그림 6의 (-) 참조)

(-)의 경우와 동일한 방식으로 전개하면 $\triangle O'AB$ 에서 $\overline{O'A} = \frac{L_a}{2} - L_s$ 가 되고 식(2)가 성립한다. 이하 같은 방식으로 L 은 식(6)과 동일하며 표 1에 (i)과 (ii)의 결과를 이용하여 L_r 와 C_r 의 산출식을 요약하였다. 표 2는 L 값을 배열 $L(XPOS, YPOS)$ 로, C_r 값을 배열 $C(XPOS, YPOS)$ 로 요약하였다.

표 2. $L(XPOS, YPOS)$ 과 $C(XPOS, YPOS)$ 의 값

L_a (mm)	XPOS, YPOS		5	6	7	8	9	10
	h	XPOS [*] , YPOS	5	10	15	20	25	30
			0	1	2	3	4	5
150	-1	0	24.08	24.62	25.18	25.78	26.40	27.05
			0.5169	0.5344	0.5525	0.5711	0.5902	0.6099
155	0	1	17.38	19.73	21.43	22.75	23.86	24.86
			0.2169	0.3325	0.3997	0.4467	0.4841	0.5164
160	1	2	16.68	18.11	19.61	20.97	22.20	23.32
			0.1269	0.2169	0.3006	0.3568	0.4024	0.4414
165	2	3	16.86	17.74	18.87	20.05	21.20	22.31
			0.0897	0.1697	0.2369	0.2929	0.3404	0.3819
170	3	4	17.22	17.82	18.67	19.65	20.67	21.70
			0.0700	0.1375	0.1948	0.2471	0.2934	0.3348
175	4	5	17.66	18.10	18.75	19.56	20.44	21.37
			0.0579	0.1137	0.1657	0.2135	0.2573	0.2975
180	5	6	18.12	18.46	18.99	19.66	20.43	21.26
			0.0498	0.0983	0.1447	0.1884	0.2293	0.2676
185	6	7	18.60	18.87	19.31	19.88	20.55	21.30
			0.0439	0.0871	0.1289	0.1689	0.2071	0.2434
190	7	8	19.08	19.31	19.68	20.17	20.77	21.44
			0.0395	0.0785	0.1167	0.1536	0.1893	0.2236
195	8	9	19.57	19.77	20.09	20.52	21.05	21.66
			0.0361	0.0718	0.1069	0.1413	0.1747	0.2071
200	9	10	20.06	20.23	20.52	20.91	21.38	21.94
			0.0333	0.0664	0.0990	0.1312	0.1626	0.1933
205	10	11	20.55	20.71	20.96	21.31	21.75	22.26
			0.0310	0.0619	0.0925	0.1227	0.1524	0.1816
210	11	12	21.05	21.19	21.42	21.74	22.14	22.61
			0.0291	0.0582	0.0870	0.1156	0.1438	0.1716

표 2. 계속

215	12	13	21.54	21.67	21.89	22.18	22.55	22.99
			0.0276	0.0550	0.0823	0.1095	0.1363	0.1629
220	13	14	22.04	22.16	22.36	22.63	22.98	23.39
			0.0262	0.0523	0.0783	0.1042	0.1298	0.1533
225	14	15	22.54	22.65	22.83	23.09	23.41	23.80
			0.0250	0.0499	0.0748	0.0996	0.1242	0.1486
230	15	16	22.04	23.14	23.31	23.56	23.86	24.23
			0.0240	0.0479	0.0717	0.0955	0.1192	0.1427
235	16	17	23.53	23.63	23.80	24.03	24.32	24.67
			0.0230	0.0460	0.0690	0.0919	0.1148	0.1375
240	17	18	24.03	24.13	24.28	24.50	24.78	25.11
			0.0222	0.0444	0.0666	0.0887	0.1108	0.1328
245	18	19	24.53	24.62	24.77	24.98	25.24	25.57
			0.0215	0.0430	0.0644	0.0858	0.1072	0.1285
250	19	20	25.03	25.12	25.26	25.46	25.71	26.02
			0.0208	0.0417	0.0625	0.0832	0.1040	0.1247
255	20	21	25.53	25.61	25.75	25.94	26.19	26.49
			0.0202	0.0405	0.0607	0.0809	0.1011	0.1212
260	21	22	26.03	26.11	26.24	26.43	26.67	26.96
			0.0197	0.0394	0.0591	0.0787	0.0984	0.1180
265	22	23	26.53	26.60	26.73	26.91	27.15	27.43
			0.0192	0.0384	0.0576	0.0768	0.0960	0.1151
270	23	24	27.03	27.10	27.23	27.40	27.63	27.90
			0.0187	0.0375	0.0562	0.0750	0.0937	0.1124
275	24	25	27.52	27.60	27.72	27.89	28.11	28.38
			0.0183	0.0367	0.0550	0.0733	0.0916	0.1100
280	25	26	28.02	28.10	28.22	28.38	28.60	28.86
			0.0179	0.0359	0.0538	0.0718	0.0897	0.1077
285	26	27	28.52	28.60	28.71	28.87	29.08	29.34
			0.0176	0.0352	0.0528	0.0704	0.0880	0.1055
290	27	28	29.02	29.10	29.21	29.37	29.57	29.82
			0.0173	0.0345	0.0518	0.0690	0.0863	0.1036
295	28	29	29.52	29.60	29.70	29.86	30.06	30.31
			0.0170	0.0339	0.0509	0.0678	0.0848	0.1017
300	29	30	30.02	30.09	30.20	30.35	30.55	30.79
			0.0167	0.0333	0.0500	0.0667	0.0833	0.1000
305	30	31	30.52	30.59	30.70	30.85	31.04	31.28
			0.0164	0.0328	0.0492	0.0656	0.0820	0.0984
310	31	32	31.02	31.09	31.19	31.34	31.54	31.77
			0.0161	0.0323	0.0484	0.0646	0.0807	0.0969

2.3 알고리즘

44개의 발광센서에서 보내진 빛은 오이의 차단정도에 따라 수광센서에서 감지되며 수광센서의 출력은 A/D 변환과정을 거친다. 최종적으로, 오이에 의해 빛이 차단되지 않으면 0으로, 차단될 경우는 1로 변환되고, 센서 X_i ($i=0, \dots, 11$)는 $X(i)$ 에, 센서 Y_j ($j=0, \dots, 31$)는 $Y(j)$ 에 저장된다. 센서 X_i ($i=0, \dots, 11$)와 Y_j ($j=0, \dots, 31$)의 최종 변환 값은 원소 값이 0 또는 1인 12차원 벡터(X)와 32차원 벡터(Y)로 표현할 수 있다.

벡터(X, Y)의 패턴을 관찰하여 XPOS와 YPOS를 구하자. X 에서 연속적인 1의 개수를 N , X 와 Y 에서 연속적으로 1이 나타날 때 마지막으로 1이 되는 센서위치를 각각 XEND와 YEND라고 하자. N 은 오이두께로 인하여 적어도 3이상이라고 가정하자. 벡터 X 의 연속적인 1은 표 3, 표 4와 표 5에 제시된 바, $X(0)=1$ 인 경우와 $X(0)=0$ 인 경우로 구분할 수 있다.

므로 가능한 XPOS값의 집합을 $\{XPOS'\}$ 이라 하자. 오이 두께가 보통 35-45mm인 점을 감안하면 오이 A로 추정하는 것이 바람직하다. 따라서 $XPOS'=XPOS=4$.

CASE 7의 경우 R 은 22.5 mm로 추정되며 이 값에 해당하는 연속적인 센서의 개수(N_R)는 4 또는 5가 될 것이다. 오이길이는 $L+2R$ 로 R 의 증가함수이므로 오이길이의 최저값을 선택하기 위해 본고에서는 4를 선택한다. 따라서 N_R 의 가능한 값 중 최저 값(N_{RMIN})인 4가 된다.

CASE 8의 경우 $N=10$, XEND=9가 되며 XPOS'는 4 또는 5가 될 수 있다. 오이 굴곡도는 XPOS의 증가함수이므로 오이굴곡도의 최대값을 선택하기 위해 본고에서는 5를 선택한다. 이때 R 은 25.0 mm로 추정되며 N_R 은 5가 될 것이다.

위와 같이 $X(0)=1$ 인 경우 $N \geq 3$ 인 모든 X 에 대하여 요약하면 표 3과 같으며 XPOS와 YPOS는 식(7)과 식(8)에 의해 산출될 수 있다.

표 3. $X(0)=1$ 일 때 $X(i)$ 의 패턴에 따른 XPOS 및 N_{RMIN} 값의 변화

CASE	X(0)	X(1)	X(2)	X(3)	X(4)	X(5)	X(6)	X(7)	X(8)	X(9)	X(10)	X(11)	N	XEND	XPOS'	XPOS	R	N_R	N_{RMIN}
1	1	1	1										3	2-8	7	7	7.5	1,2	1
2	1	1	1	1									4	3-8	6,7	7	10.0	2	2
3	1	1	1	1	1								5	4-8	6	6	12.5	2,3	2
4	1	1	1	1	1	1							6	5-8	5,6	6	15.0	3	3
5	1	1	1	1	1	1	1						7	6-8	5	5	17.5	3,4	3
6	1	1	1	1	1	1	1	1					8	7-8	4,5	5	20.0	4	4
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1				9	8	4	4	22.5	4,5	4
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			10	9	4,5	5	25.0	5	5
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		11	10	5	5	27.5	5,6	5
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	11	5,6	6	30.0	6	6

$X(0)=1$ 인 경우를 고려하자. 표 3의 CASE 7인 경우 $N=9$, XEND=8이 된다. XPOS값을 4로 할 경우 그림 7의 오이 A모양으로 추정되며, 센서 간격이 5mm이고 quantization error는 2.5mm이므로 오이반경(R_o)은 22.5mm($5x4+2.5$)로 추정된다. XPOS값을 2로 할 경우 오이 B의 모양으로, R_o 는 27.5mm로 추정된다.

일반적으로 XPOS의 값은 해석에 따라 달라질 수 있으

$$XPOS = XEND - \frac{N-1}{2} \quad N \text{이 홀수 일 때}$$

$$XEND - \frac{N}{2} + 1 \quad N \text{이 짝수 일 때} \quad (7)$$

$$YPOS = YEND - \lfloor \frac{N}{2} \rfloor \quad (8)$$

여기서 $\lfloor \alpha \rfloor$ 는 α 보다 작거나 같은 최대의 정수들의 미한다.

상기 방법으로 CASE 9와 10의 경우도 XPOS를 구할

표 4. X(0)=0 and X(11)=1일 때 X(i)의 패턴에 따른 XPOS 및 N_{FMIN}값의 변화

CASE	X(0)	X(1)	X(2)	X(3)	X(4)	X(5)	X(6)	X(7)	X(8)	X(9)	X(10)	X(11)	N	XEND	XPOS'	XPOS	R	N _E	N _{FMIN}
1	0									1	1	1	3	11	10	10	7.5	1,2	1
2	0								1	1	1	1	4	11	9,10	10	10.0	2	2
3	0							1	1	1	1	1	5	11	9	9	12.5	2,3	2
4	0						1	1	1	1	1	1	6	11	8,9	9	15.0	3	3
5	0					1	1	1	1	1	1	1	7	11	8	8	17.5	3,4	3
6	0				1	1	1	1	1	1	1	1	8	11	7,8	8	20.0	4	4
7	0			1	1	1	1	1	1	1	1	1	9	11	7	7	22.5	4,5	4
8	0		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	11	6,7	7	25.0	5	5
9	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	11	6	6	27.5	5,6	5

표 5. X(0)=0 and X(11)=0일 때 X(i)의 패턴에 따른 XPOS 및 N_{FMIN}값의 변화

CASE	X(0)	X(1)	X(2)	X(3)	X(4)	X(5)	X(6)	X(7)	X(8)	X(9)	X(10)	X(11)	N	XEND	XPOS'	XPOS	R	N _E	N _{FMIN}
1	0	1	1	1									3	3→7	6	6	7.5	1,2	1
2	0	1	1	1	1								4	4→7	5,6	6	12.5	2,3	2
3	0	1	1	1	1	1							5	5→7	5	5	12.5	2,3	2
4	0	1	1	1	1	1	1						6	6→7	4,5	5	15.0	3	3
5	0	1	1	1	1	1	1	1					7	7	4	4	17.5	3,4	3
6	0	1	1	1	1	1	1	1	1				8	8	4,5	5	20.0	4	4
7	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1			9	9	5	5	22.5	4,5	4
8	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		10	10	5,6	6	25.0	5	5

수 있다. 그러나 CASE 1에서 CASE 6까지의 경우 식(7)을 적용하기 위해 XEND의 수정이 필요하다. XEND를 8로 수정하면 식(7)이 적용될 수 있다. 8이라는 숫자는 X(4)를 기준으로 1의 패턴을 수평대칭 이동시키면 X(0)는 X(8)에 해당하기 때문에 나온 숫자이다.

X(0)=0인 경우 X(11)=1인 경우와 X(11)=0인 경우로 나누어 고려하자. X(0)=0, X(11)=1인 경우 식(7)과 식(8)이 적용될 수 있다. X(0)=0, X(11)=0인 경우 CASE 1에서 CASE 4까지의 경우 XEND를 7로 수정하여야 식(7)을 사용할 수 있다.

마지막으로 X(1)에서 X(10)까지 나타날 수 있는 X의 어떠한 패턴도 식(7)과 식(8)이 성립한다. 표 3, 4, 5에서 제시된 바, $4 \leq XPOS \leq 10$, $-1 \leq YPOS \leq 31$ 이므로 T형 센서배열에 따르면 L_n는 최저 150mm(YPOS=-1일 때), 최고 310mm(YPOS=31일 때)까지, h_n는 최저 0mm(XPOS=4일 때), 최고 30mm(XPOS=10)까지 측정이 가능하다.

일반적으로 오이는 길이와 굴곡도에 따라 표 6과 같이 8등급으로 분류되며, 작업자는 오이분류기준을 표 6과 같이 길이 입력변수인 LEN(i) (i=0,...,7)와 굴곡도 입력변수인 CRANGE를 입력하고 또한 작업 모우드를 입력하도

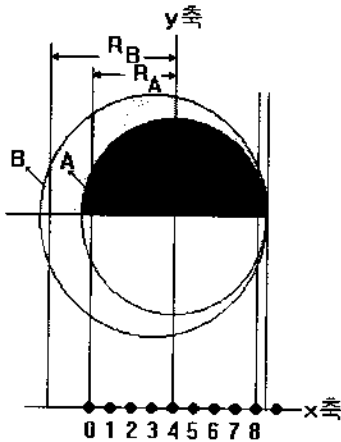


그림 7. XPOS의 산출

특 설계된다. 작업 모우드가 1이면 길이와 굴곡도를 이용하여 등급판정을 수행하고 작업 모우드가 0이면 길이만 이용하여 등급판정을 수행한다.

표 6. 등급판정표

	$0 \leq CURVAT < CRANGE$	$CRANGE \leq CURVAT$
LEN(0)~LEN(1)	1	5
LEN(1)~LEN(2)	2	6
LEN(2)~LEN(3)	3	7
LEN(3)~LEN(4)	4	8
LEN(4)~LEN(5)	5	-
LEN(5)~LEN(6)	6	-
LEN(6)~LEN(7)	7	-
LEN(7)~LEN(8)	8	-

그림 8의 알고리즘은 위에서 언급된 사항들을 요약하고 있다. 알고리즘에서 Step 3의 "IF(N<0≥1)"은 변수 N의 1번째 비트(bit)가 1인 경우 즉 홀수인 경우를 의미한다. Step 4의 "(XPOS, YPOS)의 변환"은 배열 L(XPOS, YPOS)과 C(XPOS, YPOS)의 index가 음수 값을 가지지 않도록 변환한 것이다. 참고로 본 알고리즘은 16C73-4/SP 산업용 마이크로프로세서의 어셈블리어로 코오딩되었으나 편의상 고급언어로 표현하였다. 또한 A/D변환과정 프

로그래밍은 하드웨어 회로도에 입각하여 16C73의 데이터북(2)-[10]참조)에서 제시한 대로 코오딩하면 되므로 학문적 가치가 없다고 판단하여 본고에서는 제외되었다.

3. 결론

전자식 오이선별을 위한 기초연구로 본고에서는 일반적인 오이의 이론적 모형이 구축되었으며 인간의 판단기준에 부합되는 오이의 길이와 굴곡도에 대한 이론적 정의가 제시되었다. 오이를 전자적으로 선별하기 위해 본고에서는 최소의 센서를 사용하는 T형 센서배열을 제시하였으며 T형 센서배열하에서 벡터 (X, Y)의 패턴을 얻겨하여 일정한 규칙을 발견하였으며 그 규칙에 입각하여 오이의 길이와 굴곡도를 측정할 수 있는 알고리즘을 제시하였다.

향후 A/D변환시간이 빠른 산업용 마이크로 프로세서가 개발된다면 직사각형 센서배열을 이용하여 T형 센서배열보다는 선별신뢰성이 높게 오이의 길이와 굴곡도를 측정할 수 있을 것이다. 그러나 본고의 이론적 오이모형, 길이와 굴곡도에 대한 정의와 산출식은 응용될 수 있을 것이다.

본고의 오이기본모형은 여러 측면에서 비판될 수 있다. 한국오이모양의 통계적 자료에 입각하여 한국형 오이모형(중간부분이 양끝보다 잘룩한 모형)의 개발이 선행된 후 오이길이와 굴곡도에 대한 정의가 이루어지는 것이 순서이겠지만 본고에서는 그 조사를 생략하였다. 보다 정밀한 선별을 위해서 향후 연구되어 져야 할 것이다.

본고의 알고리즘에 따른 오차와 선별신뢰성은 단순히 계산될 수 없다. 센서의 신뢰성, 오이모형의 오차, (XPOS, YPOS)의 측정에 따른 오차 등은 유기적으로 분석되어 선별신뢰성과 오차가 분석되어야 할 것으로 사료된다. 또한 오이투입시 오이에서 발생된 이 물질로 인하여 센서가 오동작을 일으켜 A/D변환 값의 신뢰성 문제가 발생되며 이로 인하여 센서 값의 패턴이 본고에서 가정한 연속적인 1의 패턴이 나타나지 않을 수 있기 때문에 이 경우에 대한 인식방법론도 향후 연구되어 져야 할 것이다.

```

Step 1: 초기화와 (N, XEND, YEND)의 산출
XEND←-1
YEND←-1
N←0
For i=0,11
  Begin
    IF(X(i)>0) N← N+1, XEND←i
  End
For j=0,31
  Begin
    IF(Y(j)>0) YEND←j
  End

Step 2: XEND의 수정
IF(X(0)=1 AND N≤8) XEND←8
IF(X(0)=0 AND X(1)=1 AND N≤6) XEND←7

Step 3: (XPOS, YPOS)의 산출
IF(N<0)=1) XPOS←XEND -  $\frac{N-1}{2}$ 

ELSE XPOS←XEND  $\frac{N}{2}+1$ 

NRMIN ←  $\lfloor \frac{N}{2} \rfloor$ 

YPOS ←YEND-NRMIN
IF(YPOS≤0) YPOS ← -1

Step 4: (XPOS, YPOS)의 변환 및 등급판정
XPOS*← XPOS-4
YPOS*← YPOS+1
For i=0, 7
  Begin
    LENGTH1←LEN(i)
    LENGTH2←LEN(i+1)
    IF(LENGTH1<(L(XPOS*, YPOS*))+10*NR)≤LENGTH2) CLASS← i
    IF(MODE=1)
      Begin
        IF(CRANGE<C(XPOS*, YPOS*)) CLASS←CLASS+4
      End
  End
End

```

그림 8. 오이품질 판독 알고리즘

참고문헌

- [1] 양문희, 전자식 오이선별기의 기술개발, 1997년 중소 기업권소사업 연구보고서, 단국대학교 산업기술연구소, 1998.
- [2] 진달복, PIC16C84/71 마이크로컨트롤러, 양서각, 1997.
- [3] Microchip, PIC16C7X Microchip Databook, Microchip Technology Inc., 1997.
- [4] Microchip, PICMASTER (in circuit emulator) User's

-
- Guide, 1997.
- [5] Microchip, *MPLAB C Compiler User's Guide*, 1997.
- [6] Microchip, *Programming Systems User's Guide*, 1997.
- [7] Microchip, *PICSTART Plus (Development System) User's Guide*, 1997.
- [8] Microchip, *PICDEMO-1 (Demo Board) User's Guide*, 1997.
- [9] Microchip, *MPLAB (IDE, Simulator, Editor) User's Guide*, 1997.
- [10] Prochips, PROLAB 사용설명서, 1998.
-

98년 7월 최초 접수, 98년 10월 최종 수정